XXI Enanpur Curitiba
19 a 23 de Maio de 2025
ideias, políticas e práticas em territorialidades do Sul Global

MUDANÇAS CLIMÁTICAS, SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E TEMPERATURA: EVOLUÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO NA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR (SESSÃO TEMÁTICA 6)

Maria das Graças Borja Gondim dos Santos Pereira
Professora da Faculdade de Arquitetura, UFBA | mariagbgsp@ufba.br

Matheus Silva Cabral
Pesquisador do Observatório das Metrópoles, Núcleo Salvador | matheussc.au@gmail.com

Sabrina de Andrade Oliveira Santos
Estudante de Geografia, UFBA | sabrina.andradeoliveira@gmail.com

Andrielly Alves de Santana da Silva
Estudante de Geografia, UFBA | andriellysilva@ufba.br

Erika do Carmo Cerqueira
Professora do Departamento de Geografia, UFBA | erika.cerqueira@ufba.br

Sessão Temática VI: Natureza, crise ambiental e mudanças climáticas

Resumo: A partir da constatação de importante alteração da temperatura, no intervalo de quase quatro décadas, na Região Metropolitana de Salvador, foram realizados estudos sobre as mudanças no uso da terra e seu impacto nas perdas cumulativas de serviços ecossistêmicos, especificamente perdas no armazenamento de carbono. Buscou-se compreender este impacto nas mudanças climáticas, refletidas no quesito temperatura, no intervalo de 1985 e 2022, tomando-se por base as informações da evolução no uso e ocupação da terra, obtidas no Projeto MapBiomas, aplicadas na ferramenta InVEST - *Carbon Storage and Sequestration,* para o cálculo da variação no armazenamento de carbono no espaço metropolitano, no mesmo intervalo. Os resultados obtidos são sugestivos de forte implicação entre redução da capacidade de sequestro de carbono, por perda de serviços ecossistêmicos e o aumento da temperatura, ressalvando-se que para a formação do clima também concorrem processos multiescalares.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, serviços ecossistêmicos, estoque de carbono, temperatura, Região Metropolitana de Salvador.

CLIMATE CHANGE, ECOSYSTEM SERVICES AND TEMPERATURE: EVOLUTION OF CARBON STOCK IN THE METROPOLITAN REGION OF SALVADOR

Abstract: *Based on the observation of an important change in temperature, over a period of almost four decades, in the Metropolitan Region of Salvador, studies were carried out on changes in land use and their impact on the cumulative losses of ecosystem services, specifically losses in the storage of carbon. We sought to understand this impact on climate change, reflected in temperature, between 1985 and 2022, based on information on the evolution of land use and occupation, obtained on the MapBiomas Project, in the same period, and applied to the tool InVEST methodology - Carbon Storage and Sequestration - to calculate the variation in carbon stock in the metropolitan space during this period. The results obtained are suggestive of a strong implication between the reduction in carbon capture capacity, due to loss of ecosystem services and the increase in temperature, noting that multiscale processes contribute to climate formation.*

Keywords: *Climate change; ecosystem services; carbon stock; temperature, Salvador Metropolitan Region.*

CAMBIO CLIMÁTICO, SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y TEMPERATURA: EVOLUCIÓN DEL STOCK DE CARBONO EN LA REGIÓN METROPOLITANA DEL SALVADOR

Resumen: *A partir de la observación de un importante cambio de temperatura, durante un período de casi cuatro décadas, en la Región Metropolitana de Salvador, se realizaron estudios sobre los cambios en el uso del suelo y su impacto en las pérdidas acumuladas de servicios ecosistémicos, específicamente pérdidas en el almacenamiento de carbono. Buscamos comprender este impacto en el cambio climático, reflejado en la temperatura, entre 1985 y 2022, a partir de información sobre la evolución del uso y ocupación del suelo, obtenida en el Projeto MapBiomas, en el mismo período, y aplicamos la ferramenta InVEST - Almacenamiento y Secuestro de Carbono, para calcular la variación del almacenamiento de carbono en el espacio metropolitano durante este período. Los resultados obtenidos sugieren una fuerte implicación entre la reducción de la capacidad del almacenamiento de carbono, debido a la pérdida de servicios ecosistémicos y el aumento de la temperatura, señalando que los procesos multiescala contribuyen a la formación del clima.*

Palabras clave*: cambio climático; servicios ecosistémicos; stock de carbón; temperatura, Región Metropolitana de Salvador.*

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas representam um dos maiores desafios para a humanidade e tem sido questão norteadora de discussões urbanas contemporâneas. As cidades apresentam particularidades no uso do solo e cobertura, por conta das características específicas de seus sistemas ambientais, da forma de ocupação do solo e dos processos socioeconômicos. A expansão das cidades impacta a relação entre o ambiente construído e o ambiente natural, com a tendência de avanço do urbano sobre o espaço rural, processo bem caracterizado na Região Metropolitana de Salvador (RMS), objeto de estudo sobre a mudança do uso da terra, a perda de serviços ecossistêmicos e a relação destes com a regulação climática, especificamente a temperatura.

Embora as áreas urbanas totalizem aproximadamente 3% da superfície do planeta, a pegada ecológica das cidades corresponde de dez a cem vezes o seu tamanho para produzir os fluxos de energia, bens materiais e serviços não materiais. O impacto global é da ordem de 78% das emissões de carbono, 60% do uso residencial da água e 76% de uso de madeira florestal. São cinco, os tipos de mudança global que afetam e são afetados pelas transformações nos sistemas urbanos: mudanças no uso do solo e cobertura, ciclos biogeoquímicos, clima, sistemas hidrológicos e biodiversidade, conforme (Grimm, *et al.*, 2008).

Como encaminhamento das pautas das mudanças climáticas, as dimensões ambiental e ecológica devem ser valorizadas e ganhar protagonismo, tanto na prática da gestão territorial, para alcançar os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS), especialmente valorizados nesse estudo os ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis e o OSD 13 – Ação contra a mudança global do clima, quanto para direcionar as revisões de Programas e Planos sintonizando-os com os princípios de sustentabilidade.

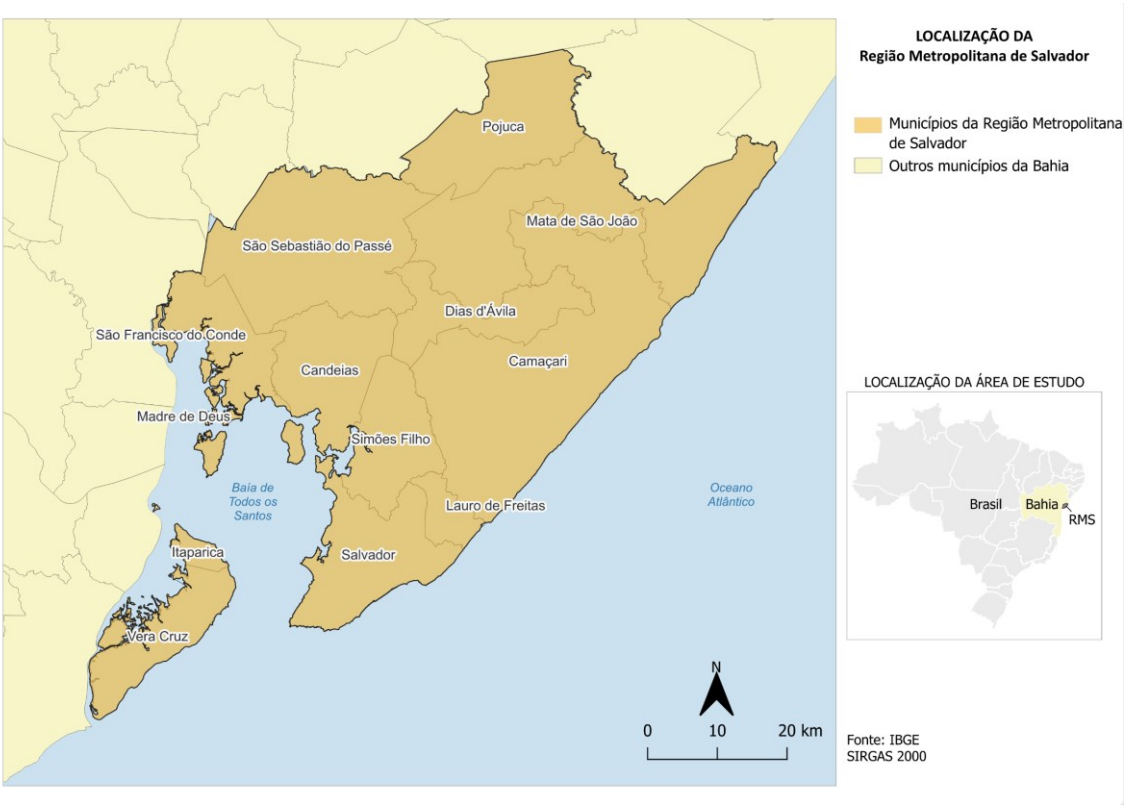
As condições de armazenamento e sequestro de gases de efeito estufa passam a ser relevantes para elaboração de políticas públicas de gestão territorial visto que se pode avaliar as perdas dos serviços ecossistêmicos associados às atividades econômicas, reconhecendo aquelas que influem negativamente no balanço do sequestro e armazenamento de carbono, assim refletindo na regulação climática.

Os resultados dos estudos da evolução da temperatura de superfície na Região Metropolitana de Salvador, constataram importante variação entre 1985 e 2022, intervalo de dados disponíveis, e supõe-se sejam reflexo das grandes transformações havidas nessa região, motivação para o desenvolvimento desta pesquisa.

BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO

A Região Metropolitana de Salvador está localizada, entre as latitudes de 12°14’ a 13°8’S e longitudes de 37°52’ a 38°48” W no estado da Bahia. Figura 1.

Figura 1. Localização da Região Metropolitana de Salvador



Fonte: Elaboração dos autores.

Na composição atual, é formada por 13 municípios: Salvador, Lauro de Freitas, Simões Filho, Camaçari, Dias D'Ávila, Mata de São João, Candeias, Madre de Deus, Itaparica, Vera Cruz, São Sebastião do Passé, São Francisco do Conde e Pojuca. Perfaz área de 4.375,12 km². Os treze municípios que a compõe concentram 23,6% da população do Estado da Bahia, somando 3.506.171 habitantes, dos quais 2.568.928 dos habitantes se encontram município sede da RMS (IBGE, 2024).

MEIO AMBIENTE

O ambiente natural da Região Metropolitana de Salvador é um patrimônio complexo, frágil e finito (Salvador: Visões de Futuro, 2018). Com a forma de grande península, situada na área costeira, compreende uma faixa litorânea no bordo Atlântico, voltada para o Leste, direção de ventos predominantes e outra no bordo de águas interioranas da Baía de Todos os Santos, voltada para o Oeste, direção de baixa incidência de ventos. Apenas três dos municípios metropolitanos não têm frente marítima (São Sebastião do Passé, Pojuca e Dias D'Ávila).

O regime de chuvas corresponde ao clima de áreas costeiras com precipitação mais intensa passando de 1200mm (PMAMC, 2020). Dos 13 municípios apenas 3 são monitorados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN quanto ao risco, sendo que o risco nos municípios monitorados corresponde: Salvador, 45%; Candeias, a19% e Lauro de Freitas, 6% (Alvala *et al.* 2019, *apud* PMAMC, 2020).

A expansão urbana adentra o espaço regional de forma desordenada sobre os ambientes naturais. A partir do município de Salvador, onde existiu a floresta tropical úmida, que abrigava uma das maiores biodiversidades do planeta, o crescimento urbano irradia na direção de ambientes mais secos, como o agreste, a caatinga, enclaves de cerrado, florestas estacionais e restingas (Salvador: Visões de Futuro, 2019).

A faixa litorânea do bordo Atlântico tem conformação geoambiental que se repete em toda extensão, com variação de profundidade dos compartimentos ao longo da costa. Tem seção transversal com topografia ascendente, composta por praias e arenitos de praia, cordão duna, terraços marinhos baixos, terras úmidas, terraços marinhos altos, dunas externas e embasamento cristalino, dunas internas, leques aluvias e Formação Barreiras[1] (BAHIA, SEPLANTEC/CONDER, s/d). O bordo da baía inicia com a gande falha geológica que termina na Cidade Baixa, numa planície litorânea banhada pela Baía de Todos os Santos a partir de onde as formações de manguezais, corais se estendem margeando os recônditos da Baia de Todos os Santos. Os municípios interioranos de São Sebastião do Passé, Dias D'Ávila, Pojuca e área do interior de Mata de São João estão situados na Formação Barreiras. Apresentam diversidade de cobertura: remanescentes de floresta ombrófila original e em estágio secundário e terciário de regeneração, florestas estacionais, formações peculiares de agreste, caatinga, e enclaves de cerrado.

Num cenário de fraca gestão ambiental, a tendência é que os ecossistemas sejam fragilizados com as atividades humanas, incluindo: supressão vegetal, erosão dos solos, destruição de áreas úmidas, sobrepesca, introdução de espécies exóticas invasoras, poluição dos solos, água e ar, carreamento de agrotóxicos, fertilizantes e resíduos de criação animal para os corpos hídricos, além do *sprawl* urbano (Salvador: Visões de Futuro, 2019).

O quadro das mudanças climáticas na Região Metropolitana de Salvador sinaliza que esta região, em especial o município de Salvador, apresenta uma tendência de aumento da temperatura de 4,5 ºC até o final do século, em 2100. Salvador também apresenta uma grande tendência ao aumento do nível do mar, mais dias com menos chuvas ao tempo que eventos extremos se tornam mais recorrentes (PMAMC, 2020).

DINÂMICA URBANA E REGIONAL

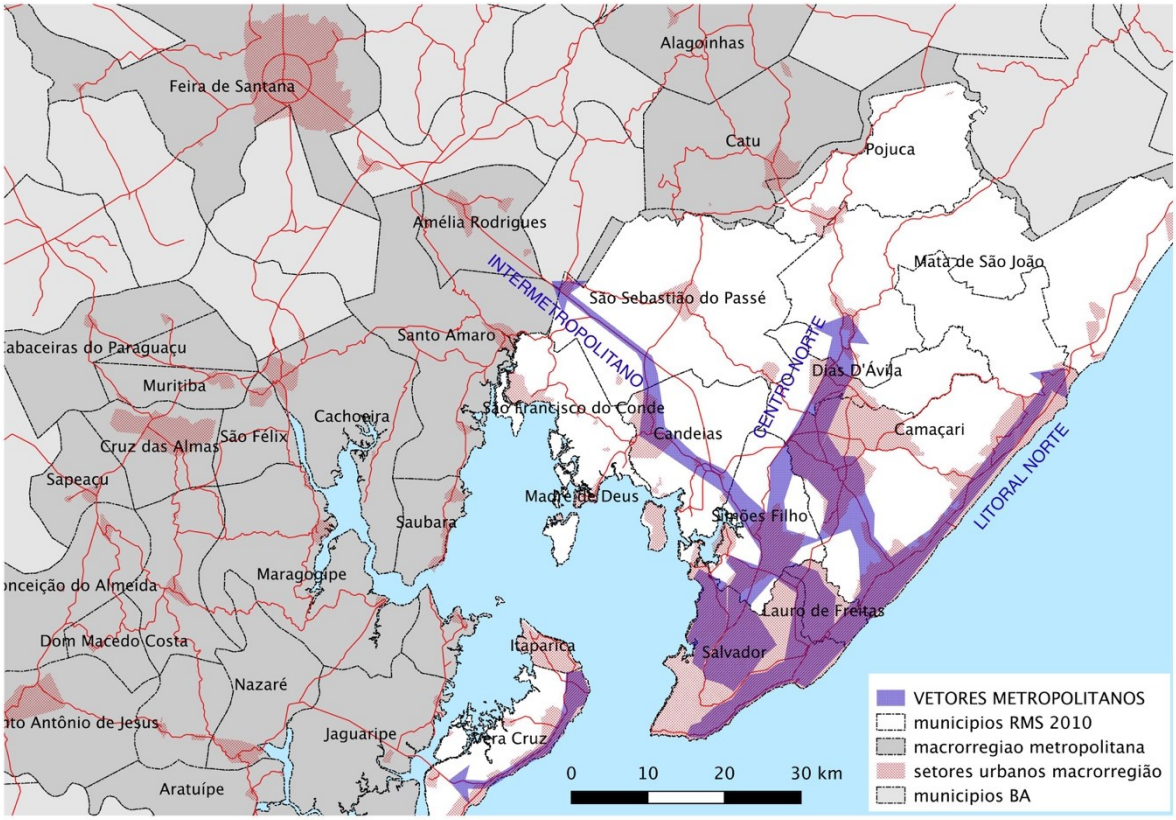
A espacialidade metropolitana resultante da dinâmica de expansão urbana, é reflexiva da convergência de muitos fatores: políticos, socioeconômicos, demográficos-populacionais e paisagístico-ambientais. Conforma quatro vetores metropolitanos de expansão: Litoral Norte, Centro Norte, Intermetropolitano e o Vetor Sul, este pendente da realização da ponte Salvador – Itaparica para seu desenvolvimento, Figura 2.

Compreender as transformações havidas neste intervalo requer uma breve contextualização das dinâmicas: políticas, econômicas, sociais, demográficas e populacionais, no período que compreende esse estudo[2].

O marco temporal desta pesquisa corresponde ao início da transição do modo de produção desenvolvimentista e de acumulação intensiva para o modo de produção de acumulação flexível e globalização da economia. Nesta região significou a chegada de capital estrangeiro investido no setor industrial e no setor turismo, dinamizando a economia da região e introduzindo as transformações urbanas para especialização do território à demanda destes setores econômicos. Grande modificação foi necessária para o crescimento e a consolidação da base urbana infraestrutura rodoviária, sistemas de saneamento ambiental, e todo um quadro de iniciativas – de legislação a capacitação – para a implantação do Plano de Turismo Sustentável da Bahia (BAHIA. SCT/SUDETUR, 1992).

Compreender as transformações havidas neste intervalo requer uma breve contextualização das dinâmicas: políticas, econômicas, sociais, demográficas e populacionais, no período que compreende esse estudo[3].

Figura 2. Vetores de expansão metropolitano, RMS



Fonte: Pereira, G.C.; Santos Pereira, M. G. B. G., 2016.

De fato, desde o desenho da política industrial do Estado, nos anos 60, o crescimento das sedes dos municípios metropolitanos era previsível, pensadas como bases urbanas de apoio ao setor industrial, principalmente moradia, naqueles municípios onde se situaram os grandes polos industriais: a precursora Refinaria Landulfo Alves (RELAM) e Terminal de Madre de Deus - TEMADRE (1950), com influencia direta nos municípios de Madre de Deus, São Francisco do Conde e Candeias; o Centro Industrial de Aratu - CIA (1964), situado no município

de Simões Filho; e o Polo Industrial de Camaçari, iniciado em 1978, como Complexo Petroquímico de Camaçari - COPEC, renomeado após a diversificação de segmentos industriais, incorporando a indústria automotiva, acrílico e outros segmentos, com impacto inicial nos municípios de Camaçari, Dias d'Ávila e Lauro de Freitas, e, mais recente e presente, repercutindo nos municípios de Pojuca, e mesmo transpondo os limites metropolitanos alcançando os municípios de Catu e Alagoinhas.

Nos anos 90 do século XX, o setor turismo desenvolveu-se ao longo da faixa litorânea, no bordo Atlântico, com a implantação de hotelaria de bandeiras internacionais, complexos hoteleiros tipo resort, âncoras para os demais empreendimentos turísticos, de médio e pequeno porte. No presente o setor turismo amplia seu espaço de interesse em direção da Bahia de Todos os Santos e ilhas. O setor imobiliário, associado ao setor turismo, interessado em ambientes de valor paisagístico, concentra a sua produção ao longo do litoral, consolida e expande vilas e localidades ao longo do Vetor Litoral Norte. No interior, onde estão situadas as sedes municipais de alguns dos municípios metropolitanos a dinamização advém da produção de moradias, loteamentos, serviços e negócios da própria estrutura produtiva dos municípios. (Santos Pereira, MGBG., 2017; Carvalho, IMM.; Pereira, GC., 2008). A formatação dessa base urbana no espaço a norte de Salvador representa uma significativa mudança na rede de cidades da região. Absorve a dinâmica de migração interna que tem origem no esvazia mento persistente de zonas urbanas da sede metropolitana, movimento que se concretiza com proliferação de novas áreas urbanizadas pulverizadas pelo território metropolitano.

A economia da RMS concentra o maior PIB da Bahia, correspondente a 39,4% do PIB estadual. Salvador, município sede da metrópole, responde por 45,3% do PIB do território metropolitano (IBGE/SEI, 2021). Em contrapartida, os altos índices econômicos e os indicadores sociais são contrastantes.

Ao longo dos eixos viários que estruturam a região situam-se as sedes municipais que polarizam áreas de expansão urbana e imantam as "novas áreas urbanizadas"[4], da monta de 150km2 a cada década, 1991/2000 e 2000/2010 (Santos Pereira, MGBG., 2017). A fragmentação promovida por ocupações dispersas restringe o potencial do uso da terra, que perde capacidade para outros usos que não a futura destinação ao mercado imobiliário.

O ambiente natural, transformado para dar suporte ao desenvolvimento econômico, repercutiu em perda da qualidade ambiental e perda de serviços ecossistêmicos, com os desdobramentos na regulação do clima.

A clareza sobre as transformações que levaram à mudança na temperatura, desperta para apreender qual o impacto no armazenamento de carbono e aponta a necessidade da incorporação de valores ambientais e ecológicos com maior protagonismo nas opções estratégicas para o planejamento setorial, urbano e regional, que se adjetive como sustentável.

A constatação do aumento da temperatura na Região Metropolitana de Salvador, direcionou a pesquisa para a apuração da mudança de uso da terra[5], motivando a formulação da seguinte questão de pesquisa: as alterações havidas no uso e ocupação da terra na RMS, no intervalo de 1985 e 2022, impactaram significativamente na perda de serviços ecossistêmicos relativos ao estoque de carbono e implicaram diretamente na variação de temperatura na região?

Parece haver consenso quanto as mudanças territoriais serem o fator que mais impacta no fluxo dos serviços ecossistêmicos. Tendência que não se reverte sem uma abordagem que considere o complexo sistema de valores territoriais a preservar: agricultura, áreas arborizadas, naturalidade e paisagem, num planejamento territorial abrangente, baseado em ferramentas eficazes orientadas para um Planejamento Baseado no Desempenho (PBD). *(performance based planning, PBP),* (Scorza *et al*., 2020).

Alinhado com o conceito de PBD adotou-se a metodologia que privilegia os serviços ecossistêmicos como quadro de avaliação territorial, na ausência de uma forma mais específica para detetar o impacto nas componentes ecológicas.

A premência de estabelecer novas bases para o planejamento, como propõe o Planejamento Baseado no Desempenho (PBD), está em sintonia com o esforço nacional de realizar os procedimentos e diretrizes para a estrutura de transparência, conforme estabelece o Artigo 13 do Acordo de Paris. Assim, foi recém-divulgada a resolução sobre o Inventário Nacional de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa[6] onde as categorias de Agropecuária, Mudança do Uso da Terra, Uso da Terra e Florestas (LULUCF) estão entre os focos de aprimoramento, um requisito para cumprir a meta da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC)[7] pelo Brasil.

Considerando que os ciclos globais de mudanças climáticas são transformações de longo prazo e que o aumento de temperatura no planeta está associado a ações antrópicas de grande escala e diversos outros fatores que favorecem ao aumento da liberação de gases de efeito estufa (metano - CH_4, dióxido de carbono – CO_2, óxido Nitroso – N_2O, ozônio - O_3 e clorofluorcarbonos[8] – CFCs), assumiu-se a hipótese de que a elevação da temperatura regional, num intervalo de aproximadamente quatro décadas, deveria estar diretamente associada às transformações havidas no uso da terra, à escala local.

Instigados com o importante dado da variação da temperatura, a continuidade da pesquisa seguiu na direção de aprofundar sobre quais transformações, geradas por dinâmicas socioeconômicas e urbanístico-paisagísticas complexas, poderiam dar resposta a esta impactante constatação. Dentre os serviços ecossistêmicos, privilegiou-se a apropriação da capacidade de armazenamento de carbono, um dos principais gases de efeito estufa a influenciar nas mudanças climáticas.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os ecossistemas fornecem uma grande quantidade de serviços, muitos dos quais são de fundamental importância para o bem-estar humano, saúde, meios de subsistência e, até mesmo, sobrevivência. Entretanto, estes serviços, resultado dos processos naturais e dos recursos produzidos, como a água limpa, o habitat dos peixes e a polinização da vegetação nativa e das culturas agrícolas, fornecidos pelos remanescentes das áreas naturais, são raramente considerados e valorados nos cômpitos dos projetos, sejam públicos ou privados.

Os ecossistemas, entre outros serviços, amenizam os extremos do clima e seus impactos; mitigam as secas e cheias; dispersam sementes; protegem as pessoas dos raios UV; promovem a ciclagem de nutrientes; protegem as margens dos rios e as zonas costeiras da erosão; agem na decomposição e remediação dos resíduos, inclusive os tóxicos; controlam as pragas agrícolas; mantêm a biodiversidade; geram e preservam os solos, renovando a sua fertilidade; contribuem para a estabilidade climática; purificam a água e o ar; regulam os organismos que causam doenças; e polinizam as culturas e a vegetação natural (ESA, 1997).

O conceito de serviço ecossistêmico constitui-se em elemento teórico central a sustentar a opção de adotá-lo como informação estratégica para alcançar os objetivos desta pesquisa. O termo "*ecosystem service*", realçando o impacto da perda de biodiversidade nos serviços prestados à humanidade pelos ecossistemas foi apresentado. (Ehrlich, P.; Mooney. H., 1983).

A classificação tradicional dos serviços ecossistêmicos destaca cinco categorias, definidas por funções: i) de regulação, manutenção dos processos ecológicos, de gases, clima e água; ii) de habitat, espaços para a manutenção da diversidade biológica e genética (berçário e refúgio); iii) de suporte, que permitem que a atividade humana se estabeleça (água, ar e substrato); iv) de produção, suprimento, como o alimento, a matéria-prima e os recursos genéticos e medicinais; e, v) de informação, para o desenvolvimento cognitivo, informação histórica, cultural e científica (Fichino, 2014; Andrade e Romero, 2009; De Groot *et al.*, 2002).

A função de regulação justifica a decisão de privilegiar os serviços ecossistêmicos de armazenamento de carbono por se tratar de elemento associado à variação do clima e, consequentemente, à variação de temperatura, quesito que dá motivação para a indagação desta pesquisa.

Algumas definições de serviços ecossistêmicos são assemelhadas. Em 1997, Constanza definiu serviços ecossistêmicos como sendo "os benefícios que as populações humanas obtêm, direta ou indiretamente, das funções de ecossistemas" (Constanza *et al.* 1997, 253)

No mesmo ano, Daily definiu serviços ecossistêmicos como "as condições e processos através dos quais os ecossistemas naturais, e as espécies que os compõem, sustentam e satisfazem a vida humana" (Daily,1997, 3). De acordo com o autor, esses serviços seriam os responsáveis por manter a biodiversidade e produzir bens, tais como, alimentos, madeira, combustíveis e muitos dos produtos farmacêuticos e industriais, bem como seus precursores.

Entre 2001 e 2005, o *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA)[9] publica uma síntese que apresenta os serviços ecossistêmicos divididos em quatro categorias: serviços de aprovisionamento, de regulação, cultural e de suporte (MEA, 2005). De acordo com essa síntese, as mudanças do uso da terra foram os fatores maior impacto causaram nos serviços de ecossistemas.

Em 2011, as discussões sobre a valoração monetária dos serviços ecossistêmicos evoluíram no sentido de determinar condições para o pagamento de compensação pela perda destes serviços. Constanza *et al.* (1997), em seu artigo *The value of the world's ecosystem services and natural capital*, ponderam que como os serviços ecossistêmicos não são totalmente "capturados", ou propriamente quantificados, estes não têm peso decisório comparável com os serviços econômicos e o capital. Considera isto uma negligência a comprometer a sustentabilidade dos seres humanos na biosfera. No mesmo sentido, Silva (2003) refere à importância da valoração ambiental, como uma sinalização de mercado que impulsiona o uso racional e sustentável dos recursos naturais.

Quanto à valoração dos serviços ecossistêmicos, Furlan (2010) os classifica da seguinte forma: i) valor de uso direto, colheita, caça, pesca; ii) valor de uso indireto, funções ecológicas da biodiversidade como proteção de bacias hidrográficas, preservação de habitat para espécies migratórias, estabilização climática, sequestro de carbono, etc.; iii) valor de opção, do uso do recurso no futuro; iv) valor de não-uso, valores de herança (benefício futuro) e de existência (benefício econômico do recurso ambiental, mesmo que não seja conhecido, nem usado. Da conexão destes valores decorre o conceito de valor econômico total (VET).

Assumir os serviços ecossistêmicos como um ativo do território que enfatiza a dimensão ambiental e a dimensão ecológica para o planejamento urbano e regional, agrega um componente de inovação para enfrentar o compromisso de reação à crise ambiental e climática. Os serviços ecossistêmicos, como indicadores de desempenho, reforçam as informações para o exercício de uma gestão territorial consciente e alinhada à reversão de práticas que responderam, até então, diretamente e exclusivamente, aos interesses socioeconômicos e políticos. Pouca, ou nenhuma, atenção era dada à quebra dos ciclos ecológicos e à capacidade de restauração da integralidade dos processos ecossistêmicos, inclusive aqueles que nos afetam como espécie.

O caráter de inovação na abordagem do planejamento por desempenho, atento aos serviços ecossistêmicos, está no suporte aos processos de tomada de decisão para considerar os serviços prestados aos humanos, de acordo com uma análise abrangente de cenários. Desse modo, passa a ser fundamental a incorporação de profissionais da ecologia urbana às equipes de planejamento, visto ser imprescindível instruir gestores a tomar decisões qualificadas e com responsabilidade socioecológica.

Arico *et al.*, 2020 defendem que seja desenvolvida uma estrutura de avaliação orientada para a superação de uma abordagem radical em questões de proteção ecológica, que constituem um valor para a vida humana e um componente do bem-estar humano, não apenas uma

forma de proteger uma ou um grupo selecionado de espécie (flora ou fauna). (Arico *et al.*, 2020, *apud* Scorza, 2020).

Dentre os principais serviços ecossistêmicos, o armazenamento de carbono, despontou como aquele indicador que melhor contribuiria para resposta à indagação de pesquisa: um elemento de regulação do clima e um valor de uso indireto, que atua sobre a preservação do habitat e estabilização climática. Principalmente, porque a perda de capacidade de sequestro e armazenamento de carbono estaria sendo medida com base no reconhecido fator de maior implicação nas perdas dos serviços ecossistêmicos – a mudança do uso da terra[10], com reflexos na formação do clima regional/local e que poderia traduzir uma implicação para a mudança de temperatura constatada.

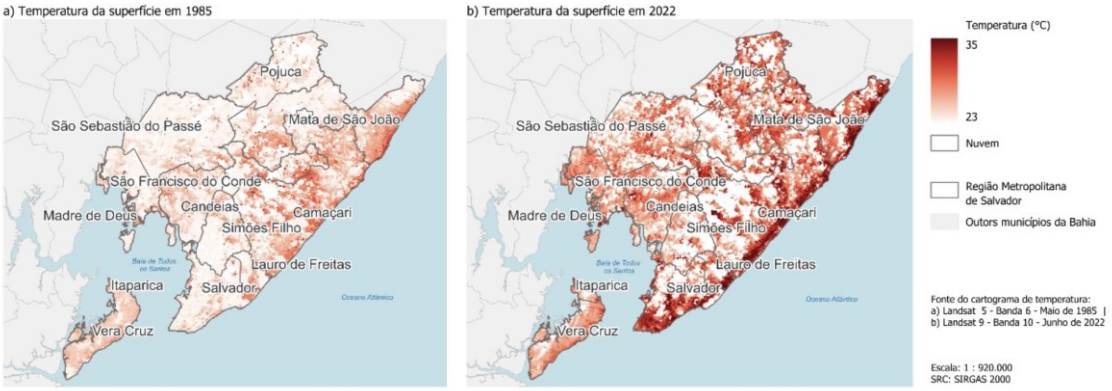
As opções metodológicas disponíveis serão adiante apresentadas e justificadas.

METODOLOGIA

A leitura do artigo de Scorza *et al.* (2020), *Comparing the territorial performances of renewable energy sources' plants with an integrated ecosystem services loss assessment: A case study from the Basilicata region (Italy)*, foi inspirador como orientação metodológica para o desenvolvimento desta pesquisa.

A partir da constatação de importante alteração na temperatura da Região Metropolitana de Salvador, cartogramas da Figuras 3 (a) e (b), surge a motivação para responder à questão dessa pesquisa. Nestes cartogramas pode-se observar a elevação da média de temperatura, de aproximadamente de 25 ºC, em 1985, para a média aproximada de 32 ºC, em 2022.

Figura 3. Relação entre temperatura da superfície,1985 a 2022



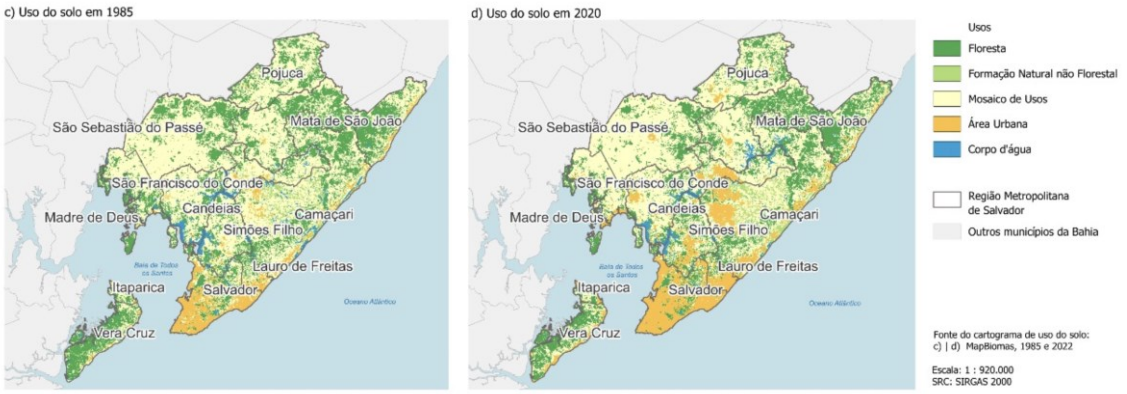
Fonte: Elaboração dos autores.

Buscar resposta para tão expressiva variação de temperatura definiu os procedimentos seguintes. Recorreu-se aos levantamentos do Projeto MapBiomas para realizar uma leitura técnica e crítico-analítica das mudanças ocorridas no uso da terra na RMS, no mesmo intervalo que se dispunha de registros da temperatura de superfície.

Os cartogramas Figura 4, (c) e (d), mostram o aumento expressivo das áreas urbanizadas na Região Metropolitana de Salvador, crescimento na direção dos vetores metropolitanos, e a

presença de áreas urbanas esparsas que avançam sobre o espaço rural. O avanço do espaço construído e mudanças perceptíveis na cobertura vegetal é sugestivo de forte correlação entre uso da terra e temperatura, justificando a pesquisa sobre capacidade de armazenamento de carbono na RMS.

Figura 4. Áreas urbanizadas e cobertura vegetal,1985 a 2022



Fonte: Elaboração dos autores.

O levantamento e análise do armazenamento de carbono *(carbon stock)* utiliza o módulo *Carbon Storage and Sequestration* da ferramenta InVEST 3.14.1 *(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs),* que permite uma análise consolidada dos serviços ecossistêmicos (Stanford, 2019). Esta ferramenta identifica áreas com o maior potencial de armazenamento de carbono e fornece subsídios para criação de instrumentos e políticas públicas de conservação e desenvolvimento na região. A metodologia envolve a utilização de dados geoespaciais e simulação ambiental, permitindo um entendimento das dinâmicas de armazenamento de carbono na RMS.

Iniciado os estudos sobre a metodologia de cálculo do armazenamento de carbono, verificou-se que os parâmetros de captura correspondiam a ambientes de zonas temperadas do clima. Buscou-se identificar trabalhos que utilizassem esta metodologia com parâmetros compatibilizados com as zonas de clima tropical. Foram identificadas publicações de Pavani (2013) que revisam os parâmetros de armazenamento de carbono da classificação da cobertura vegetal para a realidade da região dos trópicos, no Brasil.

Os procedimentos metodológicos foram os seguintes:

Definido os anos de 1985 e 2022 como referência para a análise das mudanças no armazenamento de carbono, em função da disponibilidade de dados, e utilizando-se os dados mais antigos e mais recentes, foram utilizadas imagens raster da Coleção 8 do Projeto MapBiomas para estudo de cobertura e uso da terra. Estas imagens foram processadas na ferramenta de geoprocessamento QGIS, com o objetivo de recortar o material para a área de estudo (a Região Metropolitana de Salvador) e padronizar os arquivos de acordo com os requisitos para análise na ferramenta InVEST. Os rasters foram então convertidos para vetores com as tabelas de atributos gerados a partir dos dados que foram compatibilizadas com os valores dos parâmetros de Pavani.

O Quadro 1 apresenta as classes de uso do solo do Projeto MapBiomas identificado na RMS. Estas classes foram compatibilizadas com a classificação da ferramenta InVEST e classificação de Pavani (2013). Concluída a compatibilização, com os parâmetros de Pavani, chega-se à condição de início dos procedimentos metodológicos para alcançar as respostas sobre o impacto da mudança do uso da terra no armazenamento de carbono e a consequente relação com a variação de temperatura na região.

Quadro 1. Compatibilização das classes de uso da terra para o cálculo de armazenamento de Carbono, RMS

Projetos MapBiomas	**Ferramenta InVEST**		**Pavani (2013)**	
Classes	**Grupo**	**Classe**	**Classe**	**Grupo**
Formação Florestal	Forest	Upland Forest Semi-closed mixed	FODII	Formação Florestal
Formação Savânica	Shrubland	Natural grassland	Natural grassland	Grassland
Mangue	Water	Wet shrub	Mang	Água
Silvicultura	Forest	Conifers 0-20 yrs	Silv	Agricultura
Campo Alagado e Área Pantanosa	Water	Flooded/marsh	Mang	Água
Outras Formações não Florestais	Agriculture	Grass	Ag	Agricultura
Pastagem	Agriculture	Pasture	Past	Agricultura
Mosaico de Usos	Agriculture	Field crop	Ag	Agricultura
Praia, Duna e Areal	Unknown	Barren	Baren	Desconhecido
Área Urbanizada	Built	Residential & Commercial	AU	Construído
Outras Áreas não Vegetadas	Unknown	Rural non-vegetated unknown	AU	Construido
Mineração		Não teve compatibilização	Min	Mineracao
Aquicultura	Water	Permanent lentic water	Lag	Água
Apicum	Agriculture	Bare/fallow	Baren	Desconhecido
Rio, Lago e Oceano	Water	Permanent lentic water	Lag	Água
Outras Lavouras Temporárias	Agriculture	Field crop	Ag	Agricultura
Restinga Arbórea	Shrubland	Natural shrub	Rest	Restinga
Restinga Herbácea	Shrubland	Natural shrub	Rest	Restinga

Fonte: Projeto MapBiomas, Stanford University – InVEST, 2019; Pavani, 2013.

Criou-se uma tabela de "pools"[11], com os parâmetros do estudo de Pavani, especificando a quantidade de carbono armazenado para os diferentes tipos de usos da terra e cobertura analisados. Esses são valores de entrada utilizados na ferramenta para o cálculo do armazenamento de carbono, constante do Quadro 2. Finalmente, estes rasters são processados na ferramenta InVEST para calcular o armazenamento de carbono nos anos de 1985 e de 2022.

Quadro 2. Armazenamento de carbono por classes de uso da terra e cobertura

Classes de uso do solo de Pavani (2013)		Armazenamento de Carbono			
Classe	**Grupo**	**Acima do solo**	**Abaixo do solo**	**No solo**	**Carbono morto**
FODII	Formação Florestal	113,21	22,54	234	14,39
Natural grassland	Grassland	6	6	20	2
Mang	Água	76,09	22,07	59,2	0
Silv	Agricultura	55,4	0	0	0
Ag	Agricultura	5	0	0	0
Past	Agricultura	8,7	0	0	0
Baren	Desconhecido	0	0	0	0
AU	Construído	0	0	0	0
Min	Mineracao	0	0	0	0
Lag	Água	0	0	0	0
Rest	Restinga	79,824	14,656	50,2	0

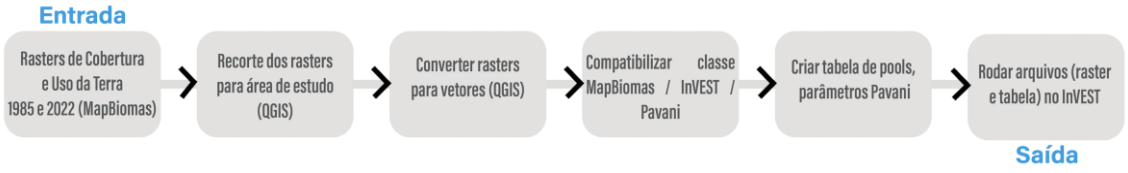
Fonte: Pavani, 2013.

O resultado é um arquivo raster com o total de armazenamento de carbono em toneladas / hectares. Visando sua representação cartográfica esse produto foi classificado usando o método "Natural Breaks (Jenks)" no qual os intervalos das classes são baseados em agrupamentos naturais inerentes aos dados de forma a agrupar melhor os valores semelhantes e maximizar as diferenças entre as classes.

Posteriormente o arquivo raster classificado é convertido para vetor, possibilitando o cálculo das áreas e suas respectivas porcentagens em relação à RMS. Esse processo permite avaliar as mudanças na cobertura vegetal e no armazenamento de carbono na RMS entre 1985 e 2022, fornecendo dados que permitem entender e analisar as dinâmicas ambientais da região.

Sintetizando, o fluxo dos procedimentos metodológicos, até a obtenção do resultado, é apresentado na Figura 5.

Figura 5: Fluxo de trabalho para cálculo do armazenamento e sequestro de carbono



Fonte: Elaboração dos autores.

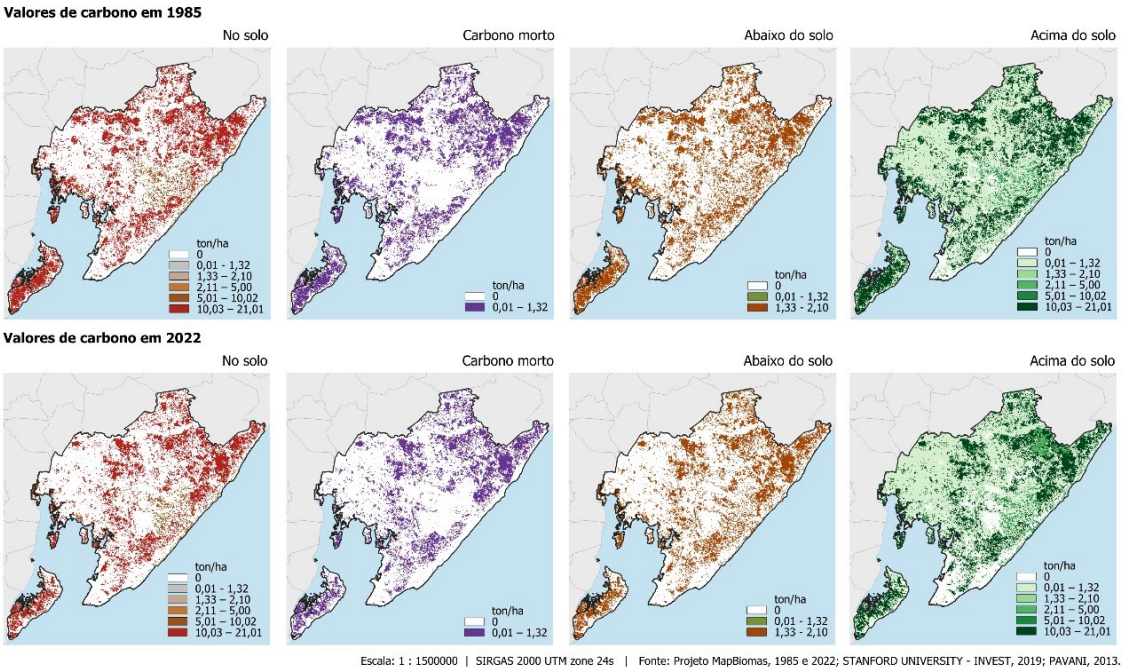
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A metodologia adotada oferece a possibilidade de quantificação dos estoques de carbono para a extensa classificação de usos e ocupações da terra. Os estoques de carbono são agregados e categorizados em quatro extratos, referidos no texto original como *pools* de carbono: i) biomassa sobre o solo (*above*) que inclui o carbono na folhagem e na madeira; ii) biomassa abaixo do solo (*under*), nos sistemas radiculares; iii) solo (*soil*) definido como carbono

orgânico armazenado pela camada mineral do solo; e, iv) a matéria orgânica morta (*dead*), o carbono na biomassa seca sobre a superfície do solo, também denominada serrapilheira, considerando os distintos contextos ecossistêmicos que se apresentam na região metropolitana, Figura 6.

Foi selecionada a resolução (tamanho do pixel) de 30 x 30 m para obter um nível de acurácia suficiente para o objetivo da pesquisa, mas, que garantisse também o cálculo da contribuição fornecida pelas áreas verdes urbanas.

Figura 6: Armazenamento de carbono por extrato (pools), 1985 e 2022



Fonte: Elaboração dos autores.

Para cada um dos extratos (*pools*), a representação especializada do comparativo da situação em 1985 e 2022, facilita a percepção da variação dos estoques de carbono por extrato e a deteção dos espaços mais impactados, sendo possível confrontar com a análise do uso da terra quais atividades econômicas foram responsáveis por estes comportamentos dos estoques.

Como mencionado, as informações do uso da terra processadas na ferramenta InVEST, utilizando os parâmetros de Pavani, com valores específicos da condição do ambiente nos trópicos, foram gerados, na RMS, nas condições existentes em 1985 e 2022. O valor do armazenamento total é resultado da agregação do carbono estocado nos diferentes extratos (*pools*) e representam o valor de carbono em toneladas / hectares, apresentado nas Figuras 7 e 8.

Os dados obtidos mostram que no ano de 1985 o arranjo espacial do uso do solo da Região Metropolitana de Salvador permitia um estoque de carbono na ordem de 43.081,184 Mg de C[12]; enquanto em 2022 esse valor foi de 38.224,391 Mg de C. Uma perda de aproximadamente 5 milhões de Mg de carbono que está ligada diretamente à mudança no

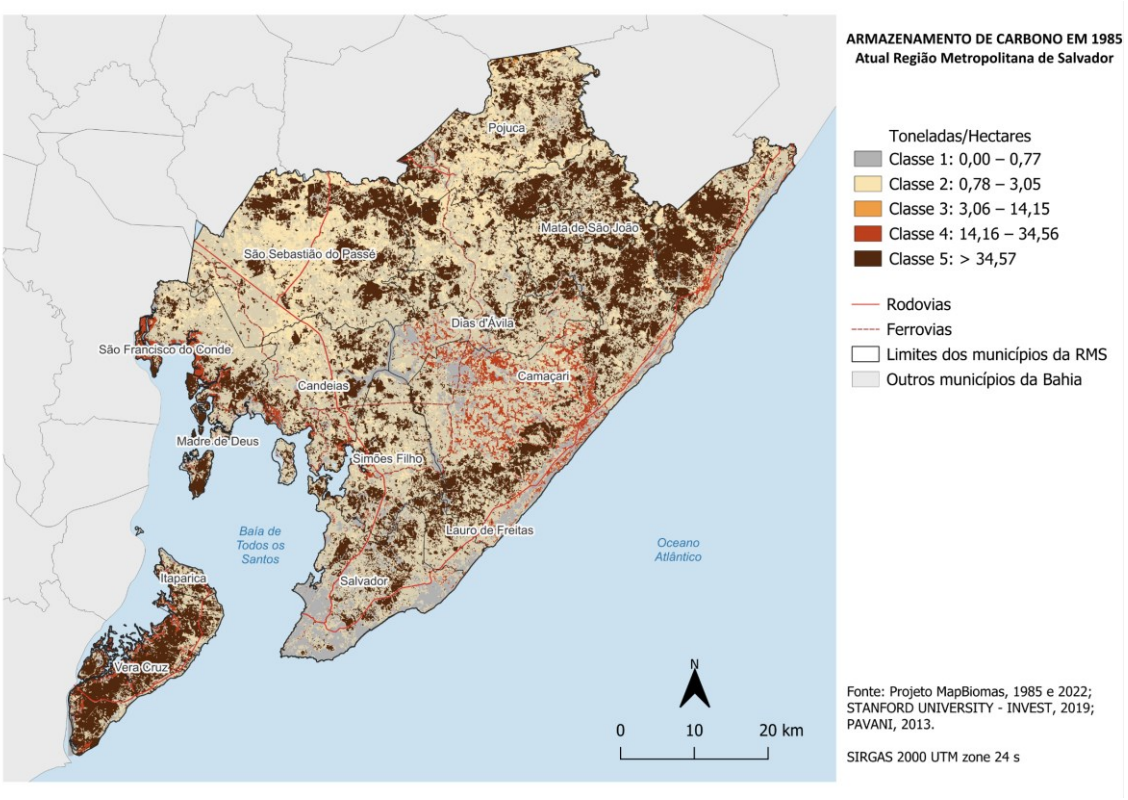
padrão de uso e ocupação do solo, com repercussões diretas também no aumento da temperatura.

Os resultados foram categorizados usando método "natural breaks" em 5 faixas de acordo com o armazenamento de carbono que representam: Classe 0 - Área predominantemente urbana; Classe 1 – Mosaico de usos, (0,001-0,783); Classe 2 – Silvicultura, (0,784-3,06); Classe 4 – Mata ciliar, mangue e outras formações singulares, (3,061 – 14,162); Classe 5 – Vegetação, (14,163-34,573).

A análise dos resultados aponta para o registro de alguns destaques. Primeiramente, observa-se o crescimento da área urbana na RMS, Classe 0, categoria de menor potencial de armazenamento de carbono, passando de 8,52% em relação ao território da RMS, em 1985, para 15,01%, em 2022. As Casses 0 - Área Urbanas e Classe 1 – Mosaico de usos avançam no território, porém não contribuem com bons resultados para o armazenamento de carbono.

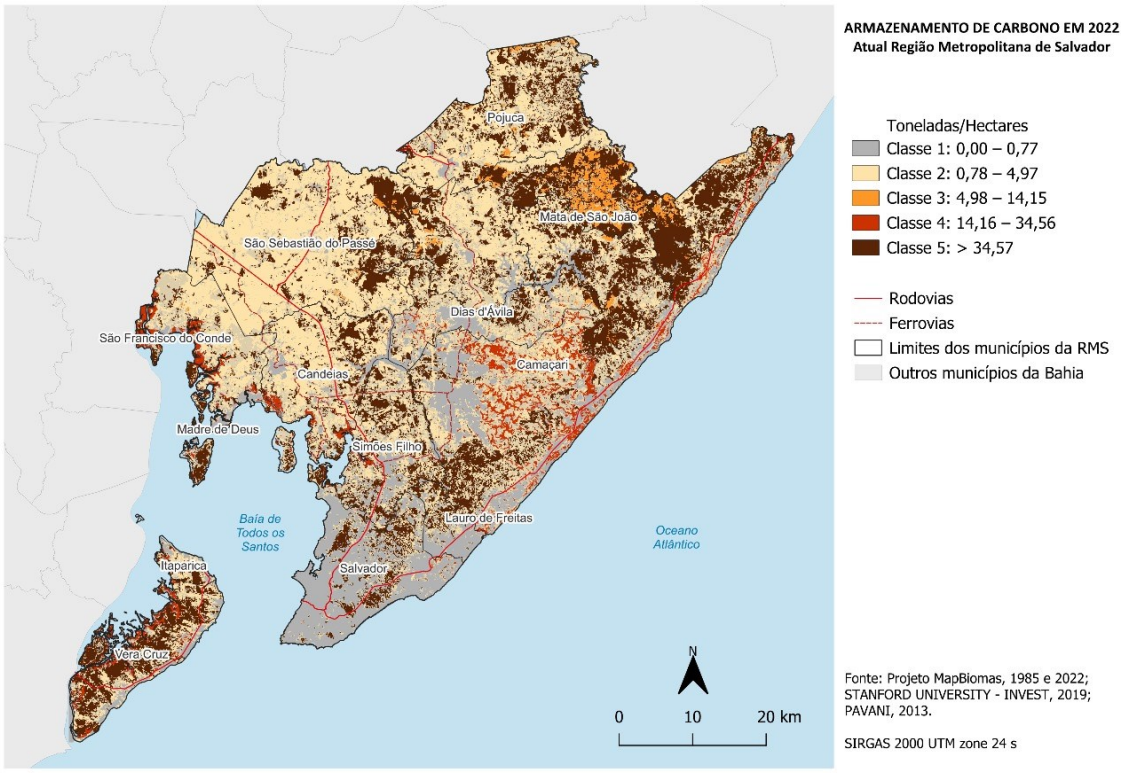
Somando-se a este resultado negativo, a área de vegetação, Classe 5, apresenta recuo considerável de 58,83%, em 1985, para 54,73% do território, em 2022. Também é possível observar a redução nas áreas de Mata Ciliar, Manguezal e outras formações singulares, contribuindo para a perda de áreas de armazenamento e sequestro de carbono na região. Nota-se que a Classe 2 - Silvicultura, com capacidade de armazenamento e sequestro de carbono de até 3,06 t/ha, representa ganho considerável em área nos últimos anos, porém quando se compara com a capacidade de armazenamento de carbono das classes 4 e 5, percebe-se que esse resultado é inferior ao que se pode armazenar em áreas de Classe 5 - vegetação, e Classe 4 - mata ciliares, mangues e outras formações singulares.

Figura 7. Armazenamento de carbono na RMS



Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 8: Armazenamento de carbono na RMS, 2022



Fonte: Elaboração dos autores.

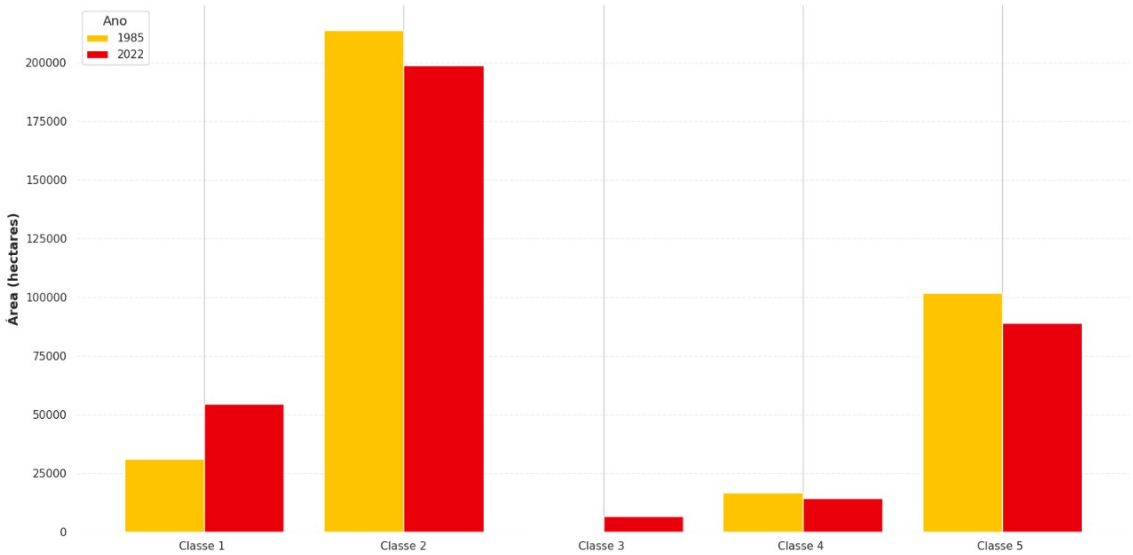
Os resultados expressos em forma de gráfico, abaixo, Figura 9, representam a alteração da área, em hectares, das respectivas classes obtidas no mapeamento de armazenamento de carbono, em 1985 e 2022.

Assim, para a Classe 1, predominantemente composta por área urbana ou intensamente antropizada, houve um aumento de área de 23.568,49 ha, (76,11% da área computada em 1985). Na Classe 2, predominantemente composta por mosaico de usos, percebe-se uma pequena redução de área 14.874,45 ha (menos 6,96% da área computada em 1985), que muito provavelmente foi absorvida pela Classe 1.

A área de silvicultura, predominantemente representada pela Classe 3, que era inexpressiva com área de 143,85 ha no ano de 1985, incrementa em 6.571,86 ha (4.567,19% da área computada em 1985) no ano de 2022. Já a Classe 4, predominantemente formada por áreas úmidas como matas ciliares, manguezais e restingas, e parte de formações singulares (de agreste e enclave de cerrado), teve uma perda de área de 2.267,51ha (menos 13,66% da área computada em 1985). Apesar desta Classe 4 ter tido a menor alteração no decorrer do período analisado, provavelmente isto signifique a substituição por usos de similar capacidade de armazenamento de carbono, ou ter tido pouca variação por se tratar de áreas com maiores regulamentações de ocupação e/ou menor interesse do capital imobiliário urbano por suas dificuldades de ocupação.

Por fim, a Classe 5, predominantemente formada por áreas com vegetação de médio a grande porte, seja qual for o nível de regeneração (secundária ou terciária), percebe-se uma redução de 12.992,16 ha no período analisado (12,75% da área computada em 1985), tendo sido incorporada nas outras classes de maior intervenção antrópica.

Figura 9. Comparativo do estoque de carbono por classes, 1985 e 2022

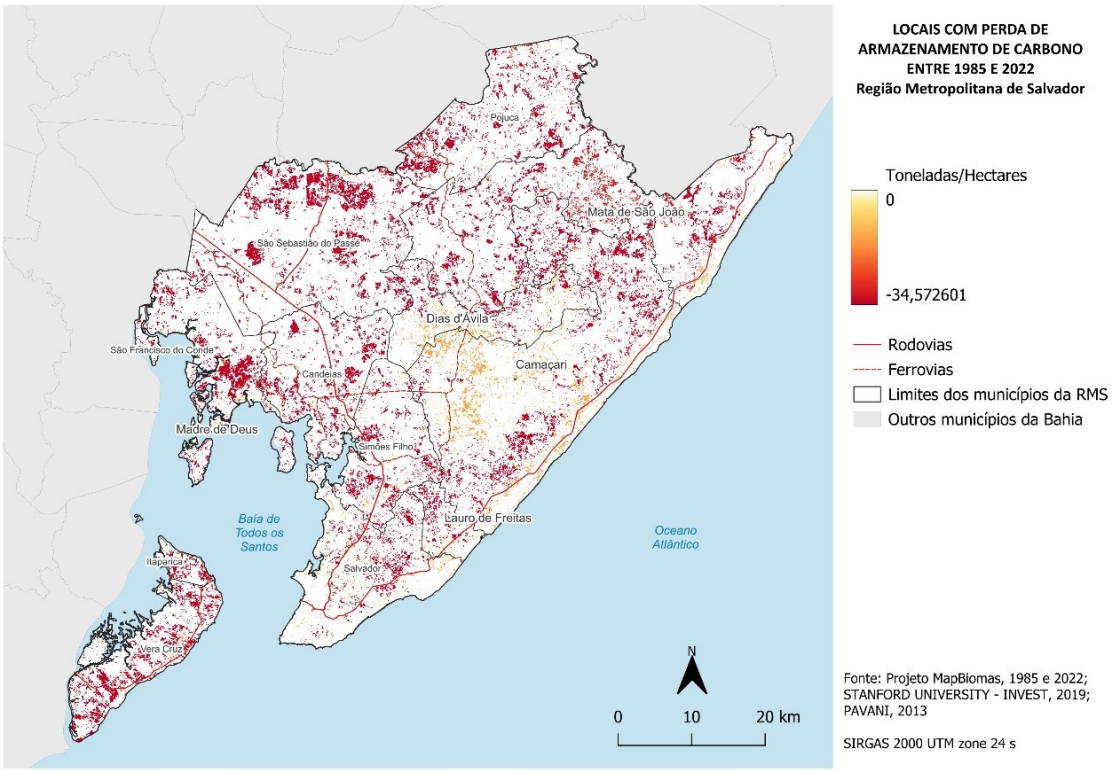


Fonte: Projeto MapBiomas Coleção 8; Elaboração dos autores.

De outro modo, os resultados da pesquisa podem ser visualizados como áreas de acumulação e áreas de perda de estoque. Utilizando a calculadora raster do QGIS, obtêm-se a diferença

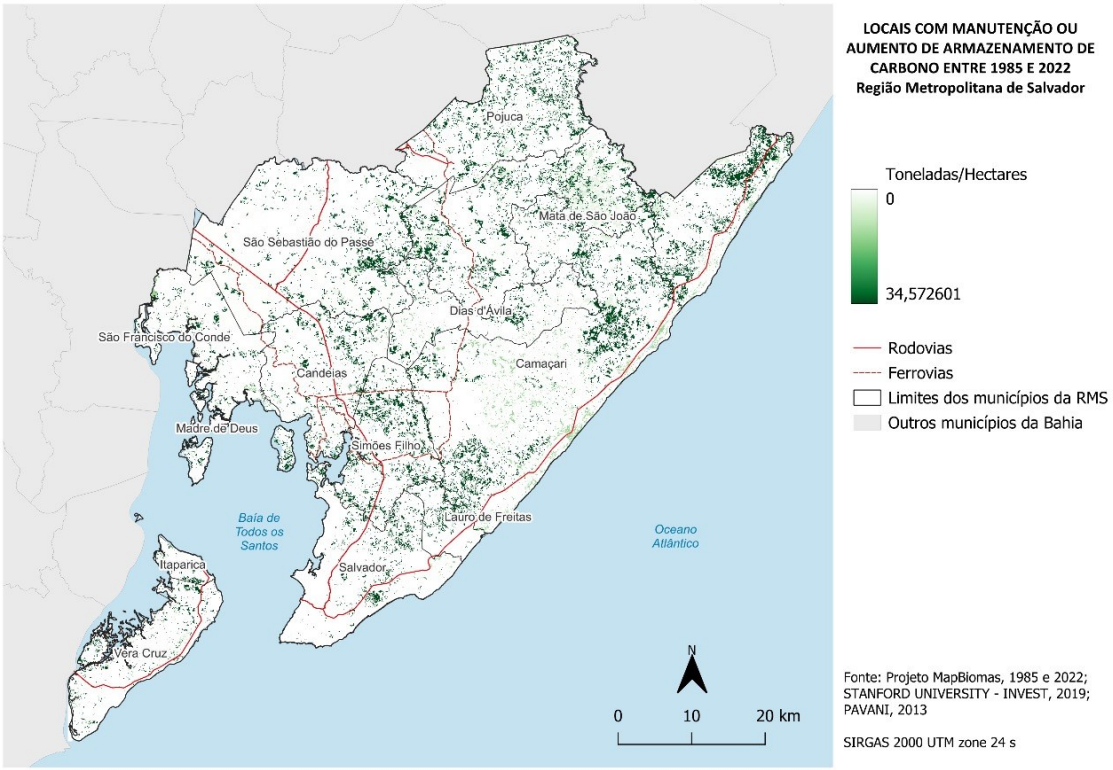
de armazenamento de carbono na RMS. A subtração é feita entre os rasters de armazenamento total dos anos analisados. Após esse procedimento têm-se duas faixas de valores: negativos, indicando no período áreas onde houve perda de armazenamento e sequestro de carbono, e positivos, indicando onde houve ganho. Esse processo nos permite visualizar e mensurar os ganhos e perdas relacionados à captura de carbono ao longo dos 37 anos de mudanças na paisagem da RMS, Figuras 10 e 11.

Figura 10. Perda de armazenamento de carbono entre 1985 e 2022



Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 11. Aumento no armazenamento de carbono, 1985 e 2022

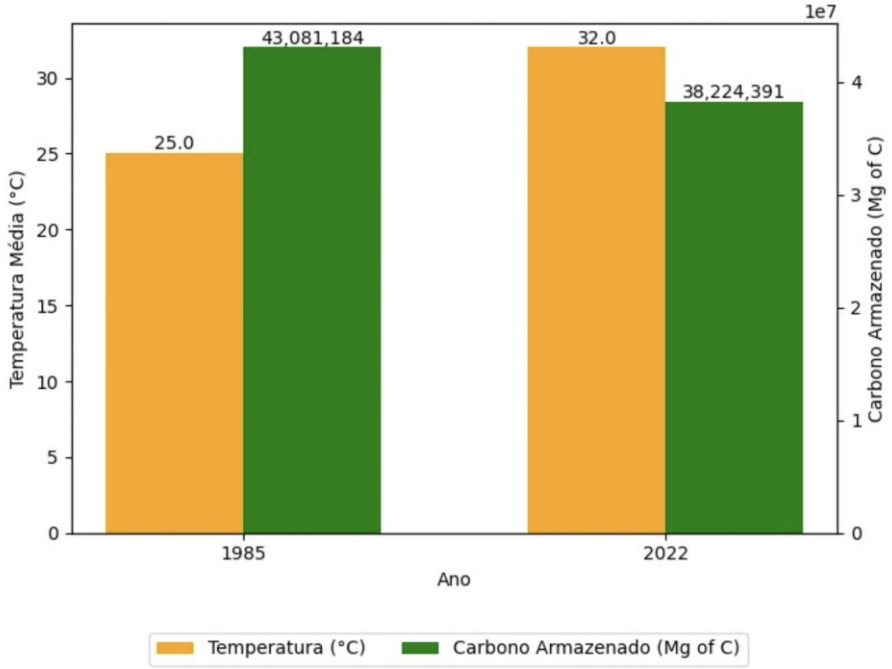


Fonte: Elaboração dos autores.

O cruzamento destes cartogramas com a geolocalização de projetos e empreendimentos é uma informação ainda desconhecida e não explorada, mas que aponta para o potencial de inovação e introdução de novos instrumentos para a gestão ambiental do território e que será objeto de análise futura dessa pesquisa. Não mais no sentido de impor sansões, pois não há mais o tempo para permitir o agravamento dos danos ambientais que corroborem para as mudanças climáticas. Importante, no sentido de que venha a se impedir repetições de transformações que comprometam os serviços ecossistêmicos, desequilibrem ainda mais os fatores que concorrem para a regulação do clima, o dano ambiental e as mudanças climáticas.

Os dados totalizados do armazenamento de carbono e os registros de temperatura nos marcos temporais de 1985 e 2022 confirmam uma relação objetiva entre mudança de uso da terra e temperatura, expressos no gráfico abaixo, Figura 12.

Figura 12. Comparativo temperatura de superfície média e total do estoque de carbono, RMS 1985 e 2022



Fonte: Elaboração dos autores.

Percebe-se que a gestão do uso do solo, principalmente em áreas urbanas, será o elemento chave no enfrentamento às mudanças climáticas, pois esta pesquisa demonstra com dados quantitativos e com representação espacial o seu impacto direto no aumento da temperatura e na redução da capacidade de armazenamento de carbono.

Essa situação se configura num ciclo desastroso no qual a redução do armazenamento de carbono intensifica ainda mais o aumento da temperatura que corrobora com a composição de micro climas locais no qual a ocorrência de eventos extremos são cada vez mais intensos e frequentes, que podem se tornar desastres sociais na medida em que a ocupação e o uso do solo não estejam atentas à uma gestão que priorize a valorização e a manutenção dos serviços ecossistêmicos, como por exemplo, preservação de rios urbanos e desocupação de suas margens, ampliação de áreas verdes, hortas urbanas e jardins verticais, ampliação de áreas com possibilidade de percolação do solo e redução de áreas pavimentadas, reutilização de águas residuais e uso de energias renováveis.

CONCLUSIVAS

Ante as ressalvas inicialmente colocadas, quanto aos múltiplos aspectos que concorrem para a formação do clima, pode-se concluir que existe uma correlação entre capacidade de armazenamento de carbono e temperatura. Que estas variáveis estão interrelacionadas é inquestionável, entretanto, os demais fatores que concorrem para a formação do clima – pressão atmosférica, temperatura, radiação solar e umidade - na sua conjunção, estão inter conectados e são Inter influentes.

O conhecimento das perdas de capacidade de armazenamento e dos estoques de carbono de um projeto ou empreendimento preenche a expectativa de ampliar a consciência sobre as melhores condições para o uso da terra com a preservação dos serviços ecossistêmicos e amplia a possibilidade de fortalecimento socioambiental de setores ligados à geração de riqueza e bem-estar da população como: agricultura, recursos hídricos, infraestrutura, energia, indústria. Muitas ações de gestão podem ser planejadas com o objetivo de instruir os agentes produtores quanto ao risco de suas práticas, dessa maneira vindo a elevar o nível de responsabilidade ambiental. A exposição ampla desse conhecimento, numa comunicação direcionada para a massiva compreensão da sociedade é fundamental para instruir e lograr adesão da sociedade aos compromissos do ODS 13 – Ação contra a mudança global do clima e ODS 11 – Cidades e Comunidades sustentáveis.

No sentido de planejamento e controle, este conhecimento viabiliza que instrumentos gerenciais de avaliação, licenciamento e financiamento de projetos e empreendimentos, públicos e privados, sejam implantados para perseguir métricas de produção de zero de emissões líquidas de carbono e zero perdas da capacidade de armazenamento de carbono, um dos pilares do mais recente livro publicado pelo Nobel de Economia: Um mundo de três zeros – A nova economia de zero pobreza, zero desemprego e zero emissões líquidas de carbono (Yunus, 2023).

Da análise de contexto das transformações de uso da terra na RMS, regidas por políticas públicas de desenvolvimento do setor industrial e do setor turismo e setores atrelados, ressalta a fraqueza das ferramentas do planejamento urbano e regional no sentido de alcançar os Objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) ou a métrica idealizada de zero emissões de carbono por Yunus Muhammad.

Esta evidência traz implícito o questionamento quanto à capacidade da disciplina de planejamento para gerir a complexidade e os multidimensionais aspectos do desenvolvimento sustentável (Sala; Ciuffo; e Nijkamp, 2015). O Planejamento baseado por Desempenho é apontado como uma inovação a ser implementada, apoiado em ferramentas eficazes de avaliação espacial diretamente ligadas às questões atuais de ocupação de terras. Ferramentas que incorporem meios para procedimentos inovadores de avaliação ambiental, como exemplifica a atenção aos serviços ecossistêmicos. Transpondo a abordagem tradicional das funções urbanas, aos processos urbanos contemporâneos que contemplam: novas formas de organização do território; áreas rurais que em rápida transição são incorporadas ao espaço urbano; degradação do ambiente natural; inovações que são promovidas no quadro global das políticas de adaptação climática.

Trazer para o planejamento urbano e regional os serviços ecossistêmicos como referencial de capacidade de uso e ocupação do solo é desafiador ao tempo em que agrega uma chance para promover a inovação no planejamento como Planejamento Baseado em Desempenho, um parâmetro eficaz a reforçar as práticas de avaliação ambiental como uma ferramenta tanto para os decisores como para as partes interessadas

A procura de novas ferramentas de avaliação que instrumentalizem os processos de decisão aportando clareza sobre o alcance das interferências nos ciclos ecológicos serão uma conquista para uma nova regulação para o uso do solo, um diferencial a ser assimilado pelos planejadores urbanos que necessitarão incorporar outros campos de saber para reinventar uma condição segura para a organização territorial urbanístico-paisagístico, ambiental e ecológica.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano. **Texto para Discussão**. IE/UNICAMP n. 155, fev. 2009. ISSN 0103-9466.

ARICO, S., Bridgewater, P., EL-BELTAGY, A., Harms, E., Program, S., Hepworth, R., et al. (2020). **Ecosystems and human well-being**. n.d.

BAHIA. SEPLANTEC/CONDER. Área de Proteção Ambiental – Litoral Norte. **Relatório Síntese do Plano de Manejo**. Salvador, s/d.

BAHIA. SCT/SUDETUR. **Programa de Desenvolvimento do Turismo da Bahia** (PRODETUR-BA), Zona Turística Costa dos Coqueiros, Zona Turística Costa do Descobrimento. Salvador: mimeo., Dez 1992.

CARVALHO, IMM., and PEREIRA, GC., orgs. Como anda Salvador e sua região metropolitana [online]. 2nd. ed. rev. and enl. Salvador: EDUFBA, 2008. 228 p. ISBN 85-232-0393-1. Available from SciELO Books.

CERQUEIRA, E. C.; SANTOS PEREIRA, M. G. B. G. Mudanças climáticas na RMS e o planejamento para a transição ecológica das cidades. **Brasil de Fato Bahia**, 06 jul. 2024. Disponível em: https://www.brasildefatoba.com.br/2024/07/06/mudancas-climaticas-na-rms-e-o-planejamento-para-a-transicao-ecologica-das-cidades. Acesso em: 25 ago. 2024.

COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature** 387, 253–260 (1997). https://doi.org/10.1038/387253a0.

DAILY, G.C. Introduction: What Are Ecosystem Services? In: Daily, G.C., Ed., **Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems**, Island Press, Washington DC, 1-10, 1997, ISBN 1-55963-475-8.

DE GROOT *et al.* A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **ELSEVIER**, Ecological Economics, Volume 41, Issue 3, June 2002, Pages 393-408.

ECOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA (ESA). Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems. **Issues in Ecology**, No. 2, Spring, 1997. <https://www.esa.org> Acesso em 28 de julho de 2019.

EHRLICH, P.R; MOONEY, H. A. Extinction, Substitution, and Ecosystem Services. **BioScience**, Volume 33, Issue 4, April 1983, Pages 248–254, https://doi.org/10.2307/1309037.

FICHINO, Betânia Santos. Trade-off entre serviços ecossistêmicos de provisão, suporte e regulação em florestas de Araucária; **Dissertação Mestrado**, Orientador: Rozely Ferreira dos Santos, (Catálogo USP), São Paulo, 2014. Disponivel em: https://doi.org/10.11606/D.41.2014.tde-09122014-091644. Acesso em 14/10/2023.

FURLAN, Melissa. Mudanças climáticas e valoração econômica da preservação ambiental. **Imprenta**: Curitiba, Juruá, 2010. 276 p. ISBN: 9788536231600.

GRIMM, N. B.; STANLEY, F.; GOLUBIEWSKI, N.; REDMAN, C.; WU, J.; BAII, X.; BRIGGS, J. Global Change and the Ecology of Cities. **Science**, vol.319. no. 5864, 2008.

IBGE – Estimativa de população 2024. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_munic%C3%ADpios_da_Bahia_por_popula%C3%A7%C3%A3o_(2024)>. Acesso em: 20/09/2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (em parceria com SEI - Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia). Produto interno bruto dos municípios: 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/. Acesso em: 19 nov. 2024.

IPCC. Climate Change 2021: **The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Relatório completo]. Cambridge University Press, 2021. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/. Acesso em: 25 ago. 2024.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **O que são mudanças climáticas?** Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/175180-o-que-s%C3%A3o-mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas#:~:text=Os%20100%20pa%C3%ADses%20menos%20emissores,responsabilidade%20maior%20de%20agir%20primeiro. Acesso em: 25 ago. 2024.

ONU BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 08 nov. 2023.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Mudanças climáticas e cidades: relatório especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. 2016. Disponível

em: <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/relatorios-especiais-pbmc/item/relatorio-de-zonas-costeiras?category_id=19>. Acesso em: 4 nov. 2024.

PAVANI, Bruna Fatiche. Análise Do Balanço De Carbono De Remanescentes De Mata Atlântica Em Cenários De Uso E Ocupação Do Solo E Mudanças Climáticas Para O Litoral Norte De São Paulo. **Tese Doutorado**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica,2013. Disponível em: <Mhttp://www.bd.bibl.ita.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3009>. Acesso em 18/11/2023.

PBMC RMCC 2016 http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/relatorios-especiais-pbmc/item/relatorio-especial-mudancas-climaticas-e-cidades?category_id=19

PEREIRA, Gilberto C.; SANTOS-PEREIRA, M.G.B.G. Expansão Urbana e Metropolitana de Salvador. In: Transformações metropolitanas no século XXI: Bahia, Brasil e América Latina. Salvador, Bahia: EDUFBA, 2016. ISBN 978-85-232-1476-0. Disponível em: https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/20064.

PLANO DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS DO CLIMA EM SALVADOR (PMAMC). Disponível em: <https://sustentabilidade.salvador.ba.gov.br/programas/plano-de-acao-climatica-de-salvador/> Acesso em 20/10/2023.

PLANO DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS DO CLIMA EM SALVADOR (PMAMC). Disponível em: https://sustentabilidade.salvador.ba.gov.br/wp-content/uploads/2020-/12/Indice_de_Risco_Climatico.pdf>. Acesso em 15/09/2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SALVADOR. SALVADOR RESILIENTE. Disponível em: < https://sustentabilidade.salvador.ba.gov.br/wp-content/uploads/2019/09/SALVADOR_RESILIENTE_versao.pdf> Acesso:15/10/2023.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil.** Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org.>. Acesso em: 20/06/2024.

SALA, Serenella; CIUFFO, Biagio.; NIJKAMP, Peter. A systemic framework for sustainability assessment. **Ecological Economics**, Volume 119, November 2015, Pages 314-325. Disponível em:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800915003821>. Acesso em 2/11/2024.

SALVADOR: VISÕES DE FUTURO. Relatório Técnico nº.3, Metrópole 2030, T2. Nov/2019.

SANTOS PEREIRA, M. G. B. G. Salvador pós-metrópole: Urbanização Dispersa, Sustentabilidade e Densidade. **Tese de doutorado**. Orientador: Gilberto Corso Pereira, 2017. Disponível em:< https://repositorio.ufba.br/handle/ri/27053>. Acesso: 2/11/2024.

SANTOS PEREIRA, M. G. B. G.; CERQUEIRA, Erica C.; CABRAL, Matheus S.; SILVA, Andrielly. A. S.; PEREIRA, Gilberto. C. Mudanças climáticas na RMS e o planejamento para a transição ecológica das cidades. **Anais**: Encontro Nacional do Observatório das Metrópoles, Natal, 2024.

SCORZA, F.; PILOGALLO, A.; SAGANEITI L.; MURGANTE, B.; PONTRANDOLFI, P. Comparing the territorial performances of renewable energy sources' plants with an integrated ecosystem services loss assessment: A case study from the Basilicata region (Italy). **Sustainable Cities and Society**, Volume 56, May 2020, 102082. Disponível em:< https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102082>. Acesso: 13/12/2023.

SILVA, R. G. Valoração do parque ambiental "Chico Mendes", Rio Branco Ac: Uma aplicação probabilística do método Referendum com bidding games. Viçosa: UFV, 2003. 125 p. **Dissertação** (Mestrado em Economia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, 2003.

SIMULAÇÃO DO CLIMATE CENTRAL https://www.bbc.com/portuguese/internacional-58905965

STANFORD UNIVERSITY. **Natural Capital Project**. InVEST – Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs. Stanford: Stanford University, 2019. Software. Disponível em: https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest. Acesso em: novembro de 2023.

UNDRR – UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **MCR2030: construindo cidades resilientes 2030**. Versão 2. 2021. Disponível em: https://mcr2030.undrr.org/sites/default/files/2021-04/MCR2030%20in%20Portuguese%20ver.2%20%2820210323%29.pdf. Acesso em: 6 nov. 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO. Projeções de clima (CMIP5). Disponível em: https://impactoclima.ufes.br/conteudo/projecoes-de-clima-cmip5. Acesso em: 10 nov. 2024.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. Millennium Ecosystem Assessment 2005. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Island Press Washington DC. © 2005, 155 pages, ISBN 1-59726-040-1. Disponível em: < https://www.millenniumassessment.org/documents/document.788.aspx.pdf>. Acesso em: 20/11/2023.

YUNUS, Muhammad. **Um mundo de três zeros – A nova economia de zero pobreza, zero desemprego e zero emissões líquidas de carbono**. Editora Voo, 2023, ISBN-13 978-6589686538.

1 Na faixa costeira ao norte da Bahia, a Formação Barreiras é a unidade litoestratigráfica mais expressiva, cobrindo cerca de 30% da superfície do estado.

2 Publicações com detalhamento maior sobre a dinâmica metropolitana: artigo intitulado Mudanças climáticas na RMS e o planejamento para a transição ecológica das cidades (Santos Pereira et al., 2024); Salvador pós-metrópole: Urbanização Dispersa, Sustentabilidade, Densidade (Santos Pereira, M.G.B.G., 2017).

3 Publicações com detalhamento maior sobre a dinâmica metropolitana: artigo intitulado Mudanças climáticas na RMS e o planejamento para a transição ecológica das cidades (Santos Pereira et al., 2024); Salvador pós-metrópole: Urbanização Dispersa, Sustentabilidade, Densidade (Santos Pereira, M.G.B.G., 2017).

4 Considerando apenas aquelas ocupações com densidade igual ou superior a 25hab/ha.

5 Adota-se o conceito de uso da terra, como termo que abrange tanto usos para fins agrícolas ou urbanos.

6 Resolução publicada no Diário Oficial em 29/10/2024. Acesso em 4/11/2024: << https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/11/comite-interministerial-sobre-mudanca-do-clima-institui-grupo-tecnico-para-o-inventario-nacional>.

7 Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) – Metas determinadas pelo Brasil para redução de emissões de gases de efeito estufa na Convenção -Quadro da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre Mudanças Climáticas, Acordo de Paris.

8 Clorofluorcarbonos são: como o hexafluoreto de enxofre (SF6) e duas famílias de gases importantes para o efeito estufa: os hidrofluorocarbonetos (HFC) e os perfluorocarbonetos (PFC). Portal de Educação Ambiental. Disponível em: https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/gases-de-efeito-estufa-gee/. Acesso em:23/07/2024.

9 Millennium Ecosystem Assessment (MEA) - um programa encomendado pelo então Secretário Geral das Nações Unidas, Kofi Anan, e composto por várias organizações de 77 países - dedicou-se a discutir as consequências da mudança do meio ambiente no bem-estar humano.

10 Outros importantes serviços ecossistêmicos, especialmente o serviço de polinização, tem sido focalizado no contexto de áreas urbanas (Berghauser Pont et al. 2024), ainda pesquisas em desenvolvimento.

11 "Pools" no sentido de áreas de concentração de carbono.

12 Mg de Carbono: outro nome para megagrama é a tonelada (tonelada métrica), que é quase sempre preferida ao megagrama. 1 Mg = 10^6 g = 10^3 kg = 1 t.